

橋梁点検ロボットカメラの利便性向上のための新たな機能

三井住友建設(株) 正会員 博(工) ○梅津 健司
 三井住友建設(株) 正会員 藤原 保久
 三井住友建設(株) 正会員 玉置 一清
 (株)日立産業制御ソリューションズ 丹野 浩二

キーワード：橋梁点検，ロボットカメラ，自走式，SIP

1. はじめに

近年、橋梁点検の省力化・高度化を図るために、さまざまな機関により多様なロボット技術の開発が精力的に進められている。橋梁点検に用いられるロボット技術は、大別すると飛行型(ドローン)、懸架型、ポール型、車両型、吸着型などがあり、三井住友建設(株)および(株)日立産業制御ソリューションズは、2012年より共同で懸架型およびポール型の「橋梁点検ロボットカメラ(NETIS登録:KT-160016-A)」を開発してきた。本カメラの研究開発は、点検の用途のみでなく、モニタリングへの適用の充実を目的として、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究開発テーマのひとつとして実施している。

本カメラは、社会実装の要請に応え、市販しており、機器の概要、性能については既報¹⁾にて報告した。本稿では、その後の開発による利便性向上に寄与する新機能や、実証試験により確認した本装置に適したユースケースについて述べる。

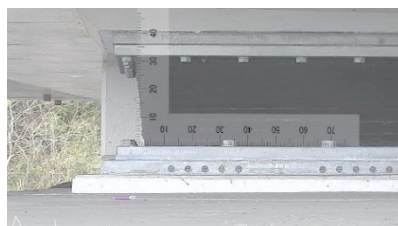
2. 利便性向上のための新たな機能

2.1 対象の寸法計測ツール

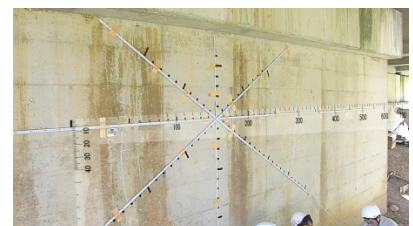
点検対象の損傷の大きさや部材寸法を認識することが、補修図面の作成および数量算定において必要となる。一般に点検員が近接目視してそれらを測定しており、点検員が容易に近づけない箇所では、橋梁点検車を用いたり、脚立や梯子を立てかけたり、足場を組むなどして行っており、コストがかかり、安全面においても課題があった。そこでこのような状況を改善するものとして、カメラから対象物までの距離をLRF(Laser Range Finder)により計測し、それにより対象面の大きさを認識し、それに基づいて端末にクラックスケールおよび計測目盛を表示させる機能を提供してきた。これにより、遠隔から対象の寸法、損傷の大きさを計測することを可能とした。今回、これに加え、端末に写真-1に示すL型スケールを表示する機能を追加した。また、対象面がカメラに正対してない場合にも対応するよう、LRFにより対象面の角度を認識し、奥行き方向に応じて目盛間隔が変化したL型スケール(写真-1c)も表示可能とした。これにより、対象面に実際にスケールを貼った場合の視覚を再現している。



a) 塗膜の割れ長さを計測



b) ゴム支承の変位量を計測



c) 斜め面を計測

写真-1 L型スケール

2.2 低倍率自動撮影機能

損傷をズームアップ（例：倍率30倍）して撮影した写真は、データ整理する段階で、橋梁のどの部位を撮影した写真なのかが分かりにくいことがある。そこで、同時にズームアウトした写真（低倍率（1倍、2倍、4倍、8倍））を自動的に撮影する機能を設けた。ズームアウトした写真（写真-2）内で、ズームアップした写真（写真-3）位置を赤枠で表示して関連が分かるようにし、データ整理を効率的に行えるようにした。



写真-2 ズームアップ写真（光学倍率 30 倍）

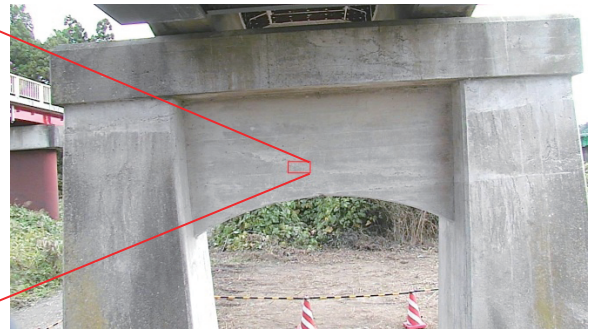


写真-3 ズームアップ写真（標準倍率 1 倍）

2.3 連続自動撮影機能

撮影したい領域の全体を、所要の解像度（mm/pixel）を保ったまま撮影するものとして、連続自動撮影機能を新たに設けた。図-1 に示すように全体画像を得たい範囲（矩形範囲）の、対角線両端の片方を始点、もう片方を終点に指定し、指定された全範囲を自動的に順番に撮影していくものである。具体的には、指定された開始画像と終了画像を基に、水平方向および鉛直方向の所要撮影枚数、1枚あたりの雲台角度を算定し、操作者が入力した重複領域率（画像相互のラップ率）を踏まえ、カメラが自動首振りしながら連続的に撮影する。

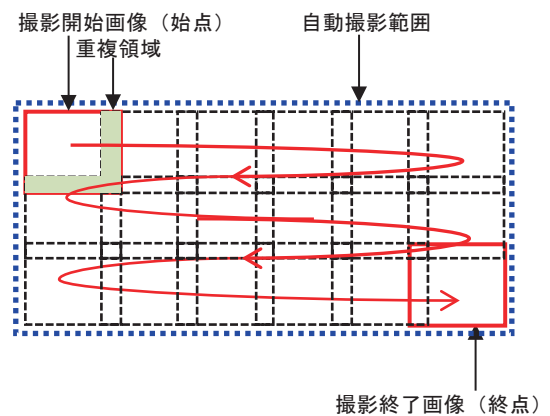
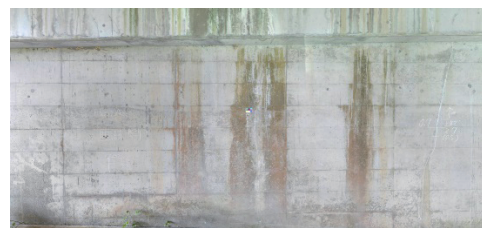


図-1 連続自動撮影における撮影領域の設定およびカメラ視点の移動



a) 橋台堅壁原画像



b) 全体合成画像

写真-4 連続自動撮影機能により撮影した画像および合成画像

この機能を用いて、橋台堅壁を対象に、高所型ポールに設置した橋梁点検ロボットカメラによって撮影した画像、およびそれらを合成してあおり補正（正対変換）した画像例を写真-4 に示す。なお、画像合成は市販のソフトを用いた。

写真-4 b) に示すような全体合成画像を得ることにより、橋梁部位の広い範囲が一画像に収められていることから、全体が俯瞰でき、個々の損傷が橋梁のどの位置に発生しているかの把握が容易になる。これにより、損傷図作成の省力化につながり、また、個々の損傷の橋梁全体図との関連付けが行える。

2.4 自走式ロボットカメラの開発

懸垂型の橋梁点検ロボットカメラを用いた点検では、装置を高欄に据え、カメラを操作する点検員がカメラを遠隔操作しながら対象構造物の損傷を見落とさないように捜すという手法が行われる。また、装置を据えた箇所から視準できる範囲より離れた箇所を点検するには、装置を橋面上上げ、移動させ、据え付け直さなければならない。この手法では、損傷の発見は点検員の技量に負うところが多く、また、据え付け直しの手間がかかる。

そこで、点検の自動化を図るものとして、高欄上を橋軸方向に装置が自走しながら、連続自動撮影する装置（写真-5、図-2）を開発した。これは、高欄に懸垂型を設置したのち、撮影画像の画角（写真1枚あたりの大きさ）、重ね合わせ率、撮影領域を設定することによって、カメラ架台の橋軸方向移動の単位距離およびカメラのチルト（鉛直）方向首振り角度を内部で計算し、自走しながら主桁側面や上床版下面を隈なく自動撮影するものである。

撮影した画像は、事務所に戻ってきたのち、つなぎ合わせ、あおり補正し、全体合成写真にする。主桁側面の全体合成写真の例を写真-6に示す。点検対象部材の全域を撮影していることから、損傷がないことのエビデンスにも使用できるという利点がある。



写真-5 自走式点検ロボットカメラを用いた点検状況

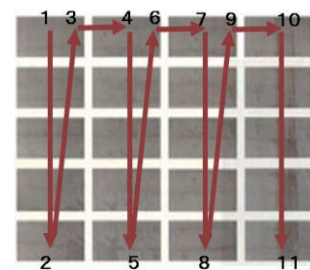
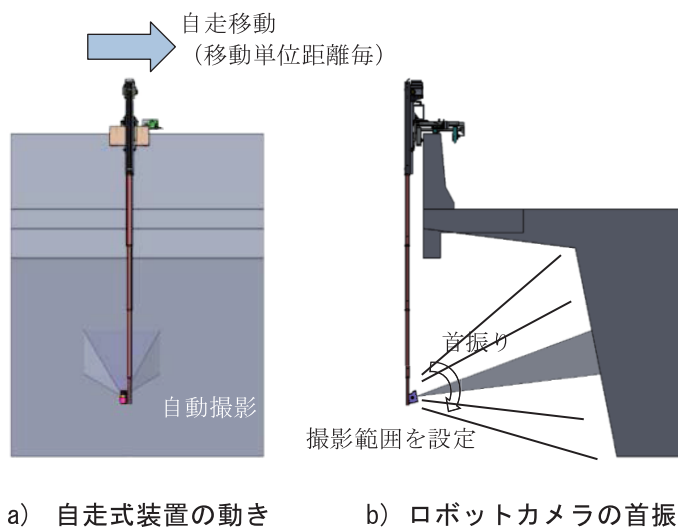


図-2 自走式装置とロボットカメラの動き

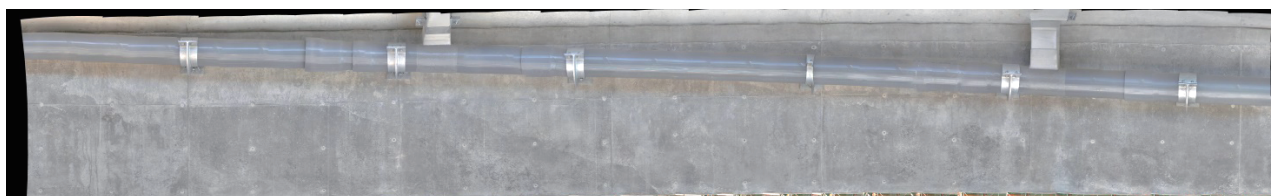


写真-6 ウェブ側面を連続自動撮影した画像の合成

3. 橋梁点検ロボットカメラの適したユースケース

3.1 歩道幅員の広い橋梁への適用

岐阜県を流れる木曾川に架橋されている各務原大橋は、上部構造型式が図-3に示すフィンバック橋で、橋面に主方向 PC 鋼材を配置したウェブ部材を有する構造である。本橋では歩道幅が広く、大型の橋梁点検車（BT400）でも橋体と干渉してしまい、点検が困難という問題がある。そこで新技術を用いた点検が検討され、岐阜大学による SIP 実装プロジェクトの一環としてフィールド試験が実施され、本技術も参加した²⁾。

懸垂型ロボットカメラを用いた点検(写真-7)では、箱桁下面中央付近も視認可能範囲にあり、本技術は点検に適用可能であることを確認した。

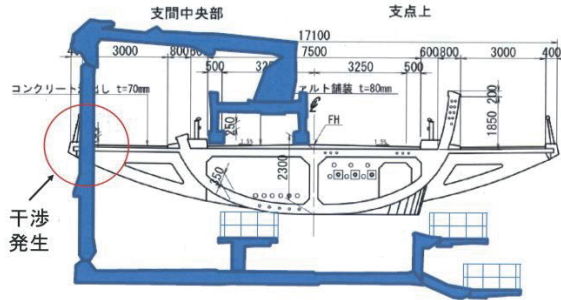


図-3 上部構造と橋梁点検車との干渉
(図提供：岐阜大学 SIP 実装プロジェクト)



写真-7 懸垂型点検ロボットによる点検状況

3.2 桁高の高い箱桁内への適用

PC 箱桁橋の桁高の高い箱桁内部の点検は、従来、足場を組んだり梯子または脚立を建てて点検が行われている。しかしこの方法では、手間やコストがかかっていた。本技術を用いた点検であれば、足場を組む必要がなくコストが抑えられ、また点検作業の安全性も向上する。長大 PC 橋の箱桁内部点検を対象とした現場検証が国土交通省により実施され、本技術は検証を受けた(写真-8)。本装置は、高感度カメラのため、暗所でも視認性が良好で(写真-9)、またカメラ付属の照明併用により0.05mm 幅のひび割れでも確認することができた(ただし、カメラから対象物まで 5m 以内)。このような箇所の点検に適した技術であると考えられる。



写真-8 PC 箱桁内における高所型を用いた点検

4. おわりに

橋梁点検ロボットカメラは、これまで国土交通省・経済産業省による「次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入検討会」が実施する現場検証および試行的導入や、SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の地域実装支援チームの実施するフィールド試験に積極的に参加し、橋梁の点検実務への適用性に関する評価を受けているところである。



写真-9 操作端末の表示画像

たとえば、図-3 に示すような標準の橋梁点検車が橋面に設置できないケースや、写真-8 に示すような PC 箱桁内の点検と言ったユースケースに橋梁点検ロボットカメラが適していると考えられる。

また、一般に点検支援ロボット技術に求められている性能について橋梁点検ロボットカメラは、課題が何なのかを認識してきた。今後は、その課題に引き続き取り組み、橋梁の点検における近接目視の代替として使用が認められるロボット技術に高めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 梅津, 藤原, 浅井, 千葉: 橋梁等構造物の点検ロボットカメラの性能検証, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 485-488, 2014. 10
- 2) 岐阜大学SIP実装プロジェクト: 各務原大橋点検方法検討会報告書 (<http://me-unit.net/research/>), 2018. 4